

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-323705

(43)Date of publication of application : 12.11.1992

(51)Int.CL

G05B 19/403
G05B 19/18
G05B 19/415
// G05D 3/00

(21)Application number : 03-119073

(71)Applicant : FANUC LTD

(22)Date of filing : 24.04.1991

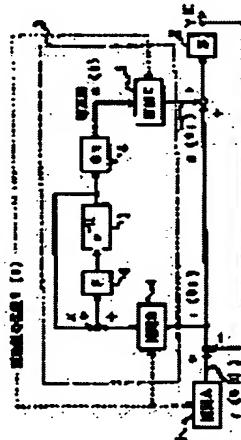
(72)Inventor : TOYOSAWA YUKIO
MAEDA KAZUOMI

(54) SYNCHRONOUS REPEAT CONTROL SYSTEM FOR ROTATION AXIS

(57)Abstract:

PURPOSE: To synchronize a servo motor, which performs the repeat operation which the same pattern synchronously with a rotation axis, with the position of the rotation axis.

CONSTITUTION: The position of a linear axis driven by the servo motor to the position of the rotation axis is stored in a memory. The position of the linear axis to a position $\theta(t)$ of the rotation axis is subjected to interpolation A by data stored in the memory to obtain a position command $r(\theta(t))$ of the linear axis, and a position deviation $\Delta\theta(t)$ is obtained. The position deviation from the rotation axis position stored in the memory is obtained by interpolation B, and the processing of a repeat controller 3 is performed to obtain an extend $d(\theta)$ of correction. The extent of correction is subjected to interpolation C to obtain an extent $d(\theta)$ of correction to the pertinent rotation position, and the position deviation $\Delta\theta(t)$ is corrected. As the result, the linear axis is controlled synchronously with the position of the rotation axis, and precise working is possible regardless of the variance of rotation or the like.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-323705

(43) 公開日 平成4年(1992)11月12日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	府内整理番号	F I	技術表示箇所
G 05 B 19/403	M 9064-3H			
19/18	C 9064-3H			
19/415	J 9064-3H			
// G 05 D 3/00	H 9179-3H			

審査請求 未請求 請求項の数2(全6頁)

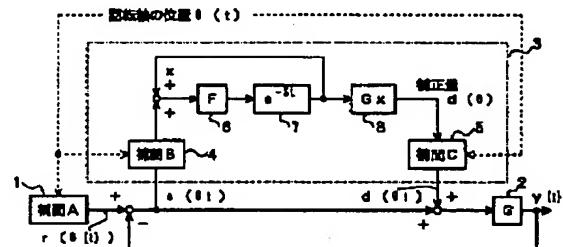
(21) 出願番号	特願平3-119073	(71) 出願人	390008235 アナツク株式会社 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地
(22) 出願日	平成3年(1991)4月24日	(72) 発明者	豊沢 雪雄 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 フアナツク株式会社商品開発研究所内
		(72) 発明者	前田 和臣 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 フアナツク株式会社商品開発研究所内
		(74) 代理人	弁理士 竹本 松司 (外2名)

(54) 【発明の名称】 回転軸同期繰り返し制御方式

(57) 【要約】

【目的】 回転軸と同期して同一パターンで繰り返し動作を行なうサーボモータを回転軸の位置で同期をとる。

【構成】 回転軸の位置に対してサーボモータで駆動される直線軸の位置をメモリに記憶しておく。回転軸の位置 $\theta(t)$ に対する直線軸の位置をメモリに記憶されたデータより補間Aを行ない求め直線軸の位置指令 $r(\theta(t))$ を求め、位置偏差 $\epsilon(\theta(t))$ を求める。補間Bを行ないメモリに記憶された回転軸位置に対する位置偏差を求める。繰り返しコントローラの処理3を行ない補正量 $d(\theta)$ を求める。かつ、補正量も補間Cにより、当該回転位置に対する補正量 $d(\theta(t))$ を求め位置偏差 $\epsilon(\theta(t))$ を補正する。その結果、直線軸は回転軸の位置に同期して制御されることになり、回転むら等があつても正確な加工ができる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 繰り返しコントローラを有し、回転軸を駆動すると共に、所定周期で繰り返される位置指令によって回転軸に同期してサーボモータを制御するサーボモータの制御方式において、予め、上記回転軸の回転位置に対する上記所定周期の位置指令を記憶しておき、サンプリング時毎、上記回転軸の回転位置を読み取り、上記記憶手段より該読み取った回転位置に対する上記位置指令を求め、該位置指令を上記繰り返しコントローラの処理およびサーボ制御処理に対する位置指令としてサーボモータを制御する回転軸同期繰り返し制御方式。

【請求項2】 読み取った回転位置が存在する区間を上記記憶手段より読み取り、該区間の両端の回転位置、サーボモータへの指令位置より補間して回転位置に対する指令位置を求め、この指令位置より位置偏差を求め、前サンプリング時の回転位置と位置偏差および当該サンプリング時の回転位置と位置偏差より、記憶手段に記憶する各回転位置に対する位置偏差を補間して求め、繰り返しコントローラの処理を行つて得られる当該サンプリング時の回転位置が存在する区間の記憶手段に記憶する両端の回転位置に対する補正量より、当該サンプリング時の補正量を補間して求め、位置偏差を補正する請求項1記載の回転軸同期繰り返し制御方式。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、工作機械等に用いられるサーボモータの制御に関するもので、特に、所定周期で同一パターンが繰返し指令されるような制御に関する。

【0002】

【従来の技術】 工作機械等を制御するサーボモータ制御において、図7に示すような、回転軸と直線軸で構成された旋盤等の工作機械では、被加工物30を回転軸駆動モータ26で駆動し、被加工物30を回転させながら、刃物31が取り付けられた直線軸を駆動するサーボモータ24で刃物31を同一パターンで繰り返し移動させて加工を行う場合ある。例えば、図8に示すように、回転軸1回転を周期Lとして、直線軸を該周期1周期として繰り返し、直線移動させて加工を行う場合がある。このような同じパターンを繰り返す動作を行う時、位置偏差を零に収束させて高い精度の加工を得る方法として、繰り返し制御方式がすでに公知である。例えば、特開平2-307104号公報、特願平2-124254号、特願平1-314154号等参照。

【0003】 図9は、上記繰り返し制御方式を適用したサーボモータの制御における要部ブロック線図である。図9において、 $r(t)$ は位置指令、 $\epsilon(t)$ は該位置指令 $r(t)$ と実際の位置 $y(t)$ との差である位置偏差、2は位置ループの伝達関数および速度ループの伝達関数の積で、P I (比例・積分)制御等を行うものであ

2

る。そして、繰り返し制御を行うために繰り返しコントローラ10が付加されており、該繰り返しコントローラ10は帯域制限フィルタ6、所定周期Lで繰り返される指令に応じた1周期分のデータを記憶する遅れ要素7、及び、制御対象の位相遅れ、ゲイン低下を補償するための動特性補償要素8で構成されている。

【0004】 上記繰り返しコントローラ10は所定サンプリング周期T毎に位置偏差 ϵ に遅れ要素7から出力される1周期L前のサンプリング時のデータ x を加算し、帯域制限フィルタ6の処理を行つて遅れ要素7にそのデータを格納する。遅れ要素7は $n (=L/T)$ 個のメモリを有し、1周期L分の各サンプリングデータを記憶できるようになっており、各サンプリング時には一番古いデータを出力するようになっている。即ち、各サンプリング毎1番地シフトして1番地のメモリに入力データを格納し、 n 番地のデータを出力する。その結果、遅れ要素7の出力は1周期L分遅れたサンプリングデータが出力される。そのため、周期Lで同一パターンの位置指令 $r(t)$ が与えられるから、加算器26で加算される位置偏差 ϵ と遅れ要素7の出力は、位置指令 $r(t)$ のパターン上において同一位置のデータが加算されることとなる。

【0005】 また、遅れ要素7の出力は動特性補償要素8で制御対象の位相遅れ、ゲイン以下が補償されて、繰り返しコントローラ10の出力、すなわち補正量 $d(t)$ として出力され、該補正量 $d(t)$ が位置偏差 ϵ に加算されて、この加算データによって位置・速度ループ処理が実行される。

【0006】 その結果、所定周期Lで同一パターンの処理が繰り返され、あるサンプリング時において前周期で当該サンプリング時に対応するサンプリング時の位置偏差 $\epsilon(t)$ が大きな値の場合には、今周期においては、繰り返しコントローラ10から大きな値の補正量 $d(t)$ が出力され、位置偏差に加算されることとなるから、位置ループ処理に入力される位置偏差は大きく変り、実位置 $y(t)$ もそれに対して変化するから、位置偏差 $\epsilon(t)$ はその値が零に収束するように修正されることになり、高精度のモータ制御が可能となる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 加工物30の精度は回転軸や直線軸の回転精度によって決まる。直線軸に関しては高い位置や速度の精度を得ることができるが、回転軸に関しては、重い回転機構やギヤ、ベルト等による機械構造のため、精度を高く制御することが難しい。また、回転軸を位置ではなく速度で制御するスピンドルモータを使用できるようにすることが望ましい。

【0008】 図7、図8に示すように、回転軸1回転を1周期Lとし、直線軸が同一パターンで繰り返される場合等においては、該1周期ないの同一時点では、直線軸の位置も回転軸の位置も、どの周期においても同一であ

ことが望ましい。すなわち、回転軸の位置と直線軸の位置は同期して各周期しないで同一対応関係にあることが望ましい。この対応関係がずれると、同一パターンで直線軸に対して指令を出しても、加工された加工物30の形状は各周期毎ことなることになり、常に一定の同一形状を得ることができなくなる。

【0009】上述したように、従来の繰り返し制御方式では、時間を仲介として、上記所定周期ないのある時点においては、回転軸の位置も直線軸の位置も、所定対応位置にあるものとして繰り返し制御を行っている。しかしながら、回転軸を高精度に制御することが難しいことから、回転軸と直線軸の対応関係がずれる場合が生じ、常に同一形状の加工物形状を得ることは難しい。

【0010】そこで、本発明の目的は、回転軸と直線軸を位置を仲介として同期を取り、回転軸と直線軸の対応位置関係のずれを防止する回転軸同期繰り返し制御方式を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、予め、回転軸の回転位置に対する繰り返し所定周期 T 内のサーボモータに対する位置指令を記憶しておき、サンプリング時毎、上記回転軸の回転位置を読み取り、上記記憶手段より該読み取った回転位置に対する上記位置指令を求め、該位置指令を上記繰り返しコントローラの処理およびサーボ制御処理に対する位置指令としてサーボモータを制御することによって上記課題を解決した。

【0012】

【作用】回転軸の回転位置を読み取り、記憶手段に記憶した回転位置に対するサーボモータの位置を補間によって求めサーボモータに対する位置指令とする。この位置指令からサーボモータの現在位置を減じて位置偏差を求め、当該回転位置までの繰り返しコントローラの処理を行ない、位置偏差を補正し、補正された位置偏差によって位置・速度ループの処理を行なってサーボモータを駆動制御する。

【0013】

【実施例】図2は本発明の一実施例を実施する工作機械のサーボモータ制御の要部ブロック図で、図中、20は工作機械を制御する数値制御装置、21は該数値制御装置20から出力されるサーボモータへの各種指令等を受信し、デジタルサーボ回路22のプロセッサに受け渡すための共有メモリ、22はデジタルサーボ回路であり、プロセッサ、ROM、RAM等で構成され、プロセッサによって直線軸を駆動するサーボモータ24の位置、速度、電流制御などを行うと共に繰り返し制御等の処理をも行うものである。23はトランジスタインバータ等で構成されるサーボアンプ、24は直線軸を駆動するサーボモータ、25はサーボモータ24の回転位置を検出し

$$r(\theta t) = r_m + (\theta(t) - \theta_m) \cdot (r_{m+1} - r_m) / (\theta_{m+1} - \theta_m) \quad \dots (1)$$

デジタルサーボ回路22にフィードバックする位置検出器としてのパルスコードである。また、26は回転軸を駆動するモータで、27は該回転軸の回転位置を検出する位置検出器としてのパルスコードである。

【0014】上記構成は工作機械等のサーボモータの制御における公知のデジタルサーボ回路の構成と同一であるが、従来のものと相違する点は、回転軸のパルスコードからデジタル回路22が、回転軸の回転位置を受信するようになっている点が相違し、また、従来のデジタルサーボ制御においては直線軸モータであるサーボモータ24に対する位置指令が、数値制御装置20から共有メモリ21を介してデジタルサーボ回路22に送られてくる点が、本発明は、回転軸のパルスコード27から送られてくる回転軸の回転位置より、デジタルサーボ回路22のプロセッサが位置指令を作り出している点が相違する。

【0015】すなわち、デジタルサーボ回路22のRAM(若しくはROM)には、予め、図3に示すように、繰り返し周期 T 内の回転軸の位置 θ_1 とこの回転位置 θ_1 に対応する直線軸の位置 r_1 を n 分割して($i = 1 \sim n$)、テーブルTBとして作成し、記憶させておく。そして、回転軸のパルスコード27から回転軸の回転位置 $\theta(t)$ が入力されると、このテーブルより内挿補間して直線軸の位置 $r(\theta t)$ を求め、このこの位置 $r(\theta t)$ を直線軸のサーボモータの指令位置とするものである。

【0016】図1は直線軸のサーボモータを駆動制御するデジタルサーボ回路22が実施する繰り返し制御を伴うサーボ制御のブロック線図で、図9に示す従来の繰り返し制御と相違する点は、補間A、B、Cを行う要素1、4、5が加わっていること、および、位置指令 $r(\theta t)$ が補間Aによって作り出され、数値制御装置からの指令ではない点が相違する。また、繰り返しコントローラ3の遅れ要素7としては、上記繰り返し周期の1周期 T を分割した n の数だけのメモリが遅れ要素として設けられている。

【0017】各サンプリング周期(直線軸の位置・速度制御周期) T 毎、回転軸の回転位置 $\theta(t)$ を読み取り、上記テーブルTBより、該回転位置 $\theta(t)$ に対する直線軸の位置 $r(\theta t)$ を補間Aを行って求める。この補間Aの処理を、例えば直線補間を行うとすれば、図4に示すように、例えば、回転位置 $\theta(t)$ が上記テーブルTBに記憶する θ_m と θ_{m+1} 間にあるとすると、テーブルTBよりこの回転位置 θ_m と θ_{m+1} に対応する直線軸の位置 r_m と r_{m+1} を読み取り、次の第1式の演算を行って回転位置 $\theta(t)$ に対応する直線軸の位置 $r(\theta t)$ を求める。

そして、この演算によって求められた、位置 $r(\theta t)$ を位置指令とし、パルスコード 25 からのフィードバック信号である直線軸の位置 $y(t)$ をこの指令位置 $r(\theta t)$ から減じて位置偏差 $\epsilon(\theta t)$ を求める。

【0018】次に、当該サンプリング時の回転軸の位置 $\theta(t)$ 、位置偏差 $\epsilon(\theta t)$ および 1 つ前のサンプリング時の位置 $\theta(t-T)$ と位置偏差 $\epsilon(\theta(t-T))$ より、当該サンプリング期間における各分割回転位置 θ_i (θ_i は 1 つ前のサンプリング時の位置 $\theta(t-T)$ が存在する次の回転位置から当該サンプリング時 * 10

$$\begin{aligned} \epsilon(\theta_i) &= \epsilon(\theta(t-T)) + \\ &(\theta_i - \theta(t-T)) \cdot \{ \epsilon(\theta t) - \epsilon(\theta(t-T)) \} / (\theta(t) - \theta(t-T)) \end{aligned} \quad \cdots (2)$$

そして、この求められた位置偏差 $\epsilon(\theta_i)$ に遅れ要素に記憶する繰り返し周期 L の 1 周期前のデータ x を加算し、フィルタ処理（要素 6 の処理）を行って、かつ、遅れ要素 7 を 1 フラッシュし、遅れ要素 7 の 1 番目のメモリにフィルタ処理を行ったデータを格納する。以下、 i が

$$\begin{aligned} d(\theta t) &= d(\theta_m) + \\ &(\theta_i - \theta_m) \cdot \{ d(\theta_{m+1}) - d(\theta_m) \} / (\theta_{m+1} - \theta_m) \end{aligned} \quad \cdots (3)$$

こうして求められた、補正量 $d(\theta t)$ を位置偏差 $\epsilon(\theta t)$ に加算し、繰り返しコントローラ 3 で補正された位置偏差を求め、位置、速度ループ処理を行いサーボモータ 24 を駆動する。その結果、回転軸の位置に応じて対応する直線軸の位置が位置指令として入力され、この指令に基づいて繰り返しコントローラ 3 および位置・速度ループ処理が行われ、サーボモータが駆動制御されることになるので、回転軸と直線軸の同期が位置によってとられ、回転軸の速度が変動しても、位置関係のずれが生じることがなく、高精度の加工ができる。

【0021】図 6 は所定サンプリング周期毎、デジタルサーボ回路のプロセッサが行う上記処理のフローチャートである。まず、加工開始指令時に初期設定が行われ、プロセッサは、繰り返しコントローラ 3 の遅れ要素に対応するメモリ $M_1 \sim M_n$ 、および 1 サンプリング前の回転位置 $\theta(t)$ 、位置偏差 $\epsilon(\theta t)$ 、回転位置が存在するテーブル T_B 上の位置を示す上記 m の値を記憶するレジスタ $R_\theta, R_\epsilon, R_m$ が「0」に初期設定し、図 6 に示す処理をサンプリング周期毎実施する。

【0022】まず、プロセッサはパルスコード 25, 27 から出力される回転軸の位置フィードバック $\theta(t)$ および直線軸の位置フィードバック $y(t)$ を読み取る（ステップ S 1）。次に上記読み取った回転軸の位置 $\theta(t)$ に対応するテーブルに記憶した回転位置を求める。すなはち $\theta_m \leq \theta(t) < \theta_{m+1}$ となるテーブル T_B のポインタ m を探す（ステップ S 2）。このポインタ m が検出されると、ポインタ m および $m+1$ に記憶されている回転位置 θ_m, θ_{m+1} および直線軸の位置 r_m, r_{m+1} をテーブル T_B より読みだし、第 1 式演算を行い

* の回転位置 $\theta(t)$ が存在する回転位置までの回転位置）に対応する位置偏差 ϵ_i を補間 B で求める。

【0019】図 5 はこの補間 B の処理の説明図で、当該サンプリング時の回転位置 $\theta(t)$ がテーブル T_B に記憶する θ_m と θ_{m+1} 間にあり、1 つ前のサンプリング時 $(t-T)$ 時の回転位置 $\theta(t-T)$ は θ_k と θ_{k+1} 間にあったとする、回転位置 θ_{k+1} から θ_m までの回転位置 θ_i ($i = k+1 \sim m$) に対応する位置偏差 $\epsilon(\theta_i)$ を例えれば次の第 2 式により直線補間して求める。

※ $k+1$ から m になるまでの位置偏差 $\epsilon(\theta_{k+1}) \sim \epsilon(\theta_m)$ を順次求め上述した処理を行う。

【0020】また、要素 5 の補間 C で、 θ_m と θ_{m+1} に対応する補正量 $d(\theta_m), d(\theta_{m+1})$ より次の第 3 式を演算して補正量 $d(\theta t)$ を求める。

指令位置 $r(\theta t)$ を求める（補間 A の処理）（ステップ S 3）。

【0023】次に、該指令位置 $r(\theta t)$ からステップ S 1 で読み取った直線軸の位置 $y(t)$ を減じて位置偏差 $\epsilon(\theta t)$ を求め（ステップ S 5）、レジスタ R_m に記憶する値（加工開始最初のサンプリング時には「0」が記憶されている）に「1」加算した値を指標 i にセットし（ステップ S 5）、レジスタ R_θ, R_ϵ に記憶する 1 サンプリング前のデータ（加工開始時の最初のサンプリング時には「0」とステップ S 1, S 4 で求めた回転位置 $\theta(t)$ と位置偏差 $\epsilon(\theta t)$ より第 2 式の演算を行って、前サンプリング時と当該サンプリング時の間ににおける指標 i で示される回転位置 θ_i に対応する位置偏差 $\epsilon(\theta_i)$ を求める（ステップ S 6）。

【0024】次に、メモリ M_n に記憶する 1 周期 L 前のデータに動特性補償要素 8 の係数 G_x を乗じて補正量 $d(\theta_m)$ を記憶するレジスタに格納する（ステップ S 7）。そして、メモリ M_n のデータをステップ S 6 で求めた位置偏差 $\epsilon(\theta_i)$ に加算しフィルタ処理（要素 6 の処理）を行ない、メモリ $M_1 \sim M_n$ をシフトし ($M_n \leftarrow M_{n-1}, \dots, M_2 \leftarrow M_1$)、メモリ M_1 に上記フィルタ処理したデータを格納する（ステップ S 8）。次に、指標 i がポインタ m に等しいか否か判断し（ステップ S 9）等しくなければ、指標 i を「1」インクリメントし（ステップ S 10）、ステップ S 6 ～ S 10 を繰り返し、指標 i がポインタ m と等しくなるとステップ S 11 に移行する。

【0025】その結果、ステップ S 7 の処理でレジスタに記憶される補正量は回転位置 θ_m に対応する補正量 d

7

(θ_m) となる。そしてステップ S 1.1 でメモリ M_n に記憶するデータに動特性補償要素 8 の係数 G_x を乗じて回転位置 θ_{m+1} に対応する補正量 $d(\theta_{m+1})$ を求め、回転位置 θ_m , θ_{m+1} , 補正量 $d(\theta_m)$, $d(\theta_{m+1})$ より第 3 式の演算を行なうことによって補正量 $d(\theta_t)$ を求め (ステップ S 1.2)、当該サンプリング時の回転位置 $\theta(t)$, 位置偏差 $\epsilon(t)$ およびピオンタの値 m をレジスタ R_θ , R_ϵ , R_m に格納する (ステップ S 1.3)。そして、ステップ S 3 で求めた位置偏差 $\epsilon(t)$ にステップ S 1.2 で求めた補正量 $d(\theta_t)$ を加算して、繰り返しコントローラ 3 の処理による補正量で補正された位置偏差を求める。この位置偏差により、位置・速度ループの処理を行ない (ステップ S 1.4, S 1.5)、当該サンプリング時の処理を終了する。

【0026】以下各サンプリング時毎に上記処理を実行することになるが、始めは、繰り返しコントローラ 3 の遅れ要素 7 の各メモリ M_1 ~ M_n および 1 サンプリング時のデータを記憶する各レジスタ R_θ , R_ϵ , R_m の値は初期設定で「0」であるが、少なくとも繰り返し周期の 1 周期 L を経過するとこれらの値は「0」ではなくなり、回転軸の位置に同期して直線軸の位置が制御されることになる。

【0027】

【発明の効果】本発明は、同一パターンの動作を繰り返し行なうサーボモータを回転軸の位置に同期して制御するようにしたから、回転軸が回転むらや一定のオフセットをもつ場合でも、加工物の精度は向上する。

【0028】そのため、回転軸のモータに対して位置制御を行なう必要がないので、速度制御のみを行なうスピ

ンドルモータを使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例のブロック線図である。

【図 2】同実施例を実施する工作機械の要部ブロック図である。

【図 3】同実施例においてデジタルサーボ回路の記憶装置に記憶する回転位置と直線軸の位置の関係を記憶するテーブルの一例を示す図である。

【図 4】同実施例における回転位置から直線軸の位置を直線補間で求める説明図である。

【図 5】同実施例におけるテーブルに記憶した回転位置に対応する位置偏差を直線補間で求める説明図である。

【図 6】同実施例におけるデジタルサーボ回路のプロセッサが実施する処理のフローチャートである。

【図 7】本発明を適用する加工の一例を示すブロック図である。

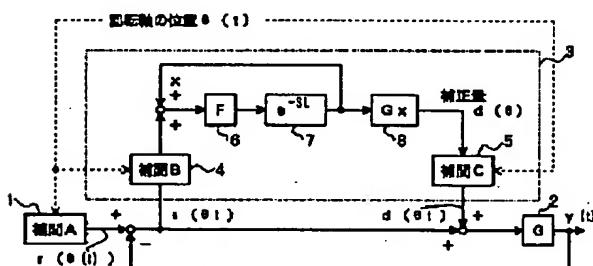
【図 8】同実施例における回転軸と直線軸の動作の説明図である。

【図 9】従来の繰り返しコントローラによる制御のブロック線図である。

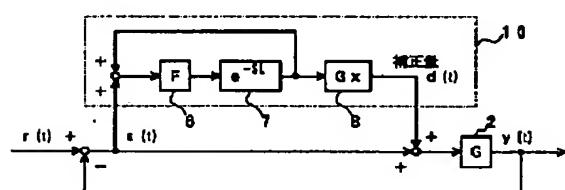
【符号の説明】

- 1 構成 A の要素
- 2 制御対象の伝達関数の要素
- 3 繰り返しコントローラ
- 4 構成 B の要素
- 5 構成 C の要素
- 6 帯域制限フィルタ
- 7 遅れ要素
- 8 動特性補償要素

【図 1】

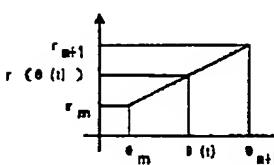


【図 9】

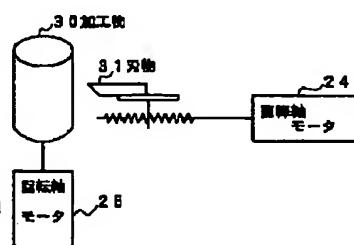
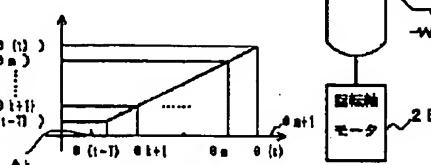


【図 7】

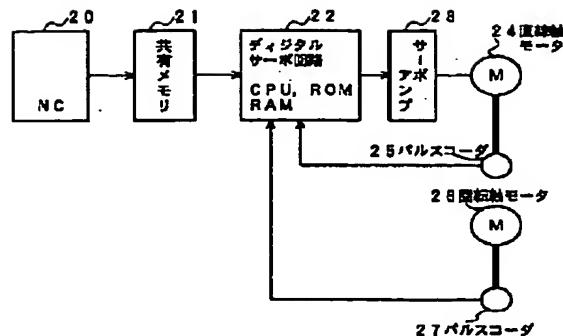
【図 4】



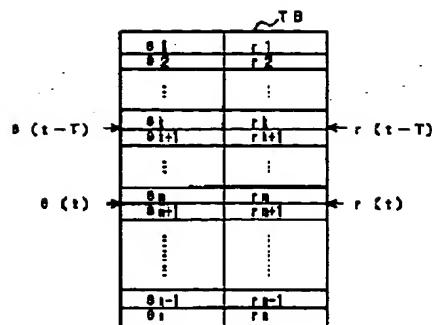
【図 5】



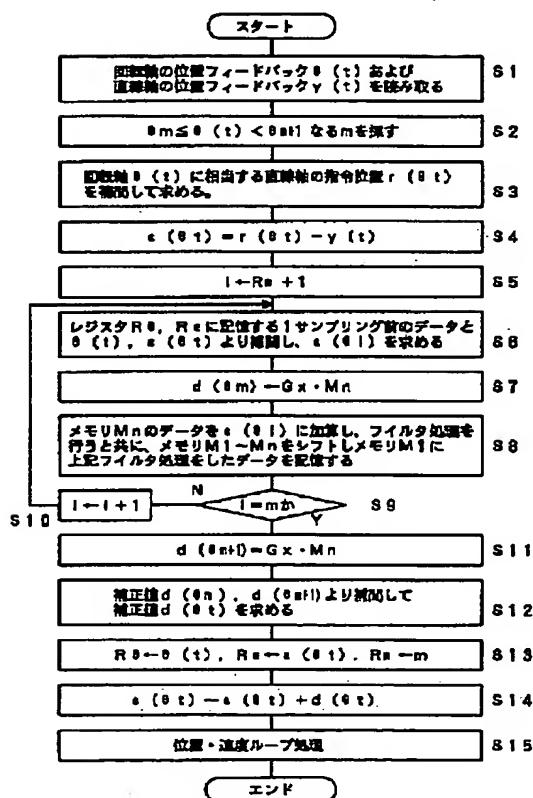
【図2】



【図3】



【図6】



【図8】

